GAP IV. Mühendislik Kongresi Bildiriler Kitabı, 06-08 Haziran 2002, Şanlıurfa.
Proceedings of the Fourth GAP Engineering Congress, 06-08 June 2002, Şanlıurfa.

BUZ DEPOLAMALI BİR İKLİMLENDİRME SİSTEMİNİN TASARIMI

Hasan SERİN, Çukurova Üni. Makina Müh. Böl., 01330-Adana, hserin@mail.cu.edu.tr
Ramazan GÜLER, Çukurova Üni. Makina Müh. Böl., 01330-Adana, rguler@mail.cu.edu.tr
Orhan BÜYÜKALACA, Çukurova Üni. Makina Müh. Böl., 01330-Adana, orhan1@mail.cu.edu.tr
Tuncay YILMAZ, Çukurova Üni. Makina Müh. Böl., 01330-Adana, tunyil@mail.cu.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, soğutma için gerekli elektrik enerjisi ihtiyacını, elektriğin ucuz olduğu gece saatlerine kaydırabilme özelliğine sahip soğu depolama teknolojisinin Türkiye şartlarında uygulanabilirliği araştırılmıştır.

Bu amaçla tam depolamalı işletme stratejisine dayalı, buz depolamalı bir iklimlendirme sisteminin Çukurova Üniversitesi Makina Mühendisliği Laboratuarlarındaki bir mahalin soğutulması için soğutma yükünü karşılayacak soğunun depolanabileceği bir buz tankı tasarımı yapılmış ve Çukurova Üniversitesi Makina Mühendisliği Laboratuarlarında imal edilip, buz depolamalı iklimlendirme sistemi kurularak denenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Isıl enerji depolama, iklimlendirme, tam depolamalı işletme stratejisi, buz depolama, buz tankı

DESIGN OF AN ICE STORAGE AIR-CONDITIONING SYSTEM

Abstract

In this study, applicability of cool storage technology, which allows reducing electricity costs by shifting electrical demands for cooling to periods when electricity prices are lower were investigated for Turkey conditions. An air-conditioning system with ice storage under full storage operating strategy is designed and constructed to cool a room located in the Laboratories of Mechanical Engineering Department of Çukurova University. For cooling needs of the room, an ice storage tank is designed, constructed and tested in the Laboratory.

Keywords: Thermal storage, air-conditioning, full storage operating strategy, ice storage, ice tank

1. Giriş

Çağın getirdiği konfor ihtiyaçlarından birisi olan soğutma, günümüzde büyük önem kazanmıştır. Soğutma ihtiyacı, büyük miktarlarda elektrik enerjisi ihtiyacını da beraberinde getirmiş olup, gerekli elektrik enerjisinin yeterli miktarlarda üretilememesi veya düzenli kullanılamaması büyük sorunlar ortaya çıkartmaktadır. Soğutma ihtiyacı genellikle insanların çalışma saatleri olan gündüz (havanın sıcak olduğu) saatlerinde ortaya çıkmakta, bu saatlerde elektrik çok kullanılmakta ve elektrik santrallerinde üretim için yoğun talep olmaktadır. Bu yoğun talebi ortadan kaldırmak için bu talebin azaltılması, düzenlenmesi ya da daha fazla elektrik enerjisinin üretilmesi gerekmektedir [1].

Soğu depolama sistemlerinin amacı, elektriğin çok kullanıldığı gündüz saatlerindeki soğutma enerjisi üretimini, elektriğin daha az kullanıldığı gece saatlerine kaydırarak, yığılmaları engellemek ve elektrik kullanımını düzenlemektir. Bu da soğutma sisteminin gece saatlerinde çalıştırılarak, soğunun bir depoda depolanması ve bu depolanan soğunun gündüz saatlerinde kullanılmasıyla sağlanır.

Soğu depolama; günümüzün soğutma, havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinin işletme maliyetlerini ve bazı durumlarda ilk yatırım maliyetlerini düşürmek için, bu sistemlerin gerekli bir parçası olarak görülmeye başlanmıştır. Konvansiyonel sistemler, günün yalnız bir kısmında gerçekleşen tepe soğutma ihtiyaçlarını karşılamak için tasarlanırlar. Geri kalan zamanda ise sistem tam kapasitesiyle çalışmaz. Soğu depolamalı sistemler ise, bir sonraki günün soğutma çevriminde kullanılmak üzere soğuyu gece üretmeye olanak sağlarlar. Sistemin daha uzun süreler boyunca çalıştırılması ile, sistem ve de sistem ekipmanları belirli oranlarda küçültülebilir.

Soğu depolama sistemleri genellikle, ofis binaları, hastaneler, camiler, banka, oteller, alışveriş merkezleri, sinema ve tiyatro gibi büyük soğutma yükü ihtiyacının olduğu ve merkezi iklimlendirme sistemlerinin kurulduğu yerlere uygulanabilir. Bu sistemler yeni kurulan bir binaya uygulanabildiği gibi mevcut bir sisteme de ilave edilebilirler.

Ülkemizde elektrik kullanımının düzenlenmesi için yeni bir puant tarifesi getirilmiştir. Bu yeni uygulama ile, elektrik fiyatı elektriğin en çok kullanıldığı saatlerde pahalı, en az kullanıldığı saatlerde ise ucuz yapılarak,

kullanıcıların elektriği en ucuz zaman diliminde kullanmaları teşvik edilmektedir. Böylece gündüz oluşacak tepe yüklerin bir kısmının geceye kaydırılarak, elektrik tüketiminin düzenlenmesi, belirli oranda homojenleştirilmesi hedeflenmiştir. Bu puant tarifesine göre, gün 17^{00}-22^{00}, 22^{00}-06^{00} ve 06^{00}-17^{00} şeklinde 3 zaman dilimine bölünmüştür. Elektriğin en pahalı olduğu zaman dilimi 17^{00}-22^{00} saatleri arası, en ucuz olduğu zaman dilimi ise 22^{00}-06^{00} saatleri arasındadır [2].

Soğu depolama sistemleri, depolama ortamına ve depolama teknolojisine göre karakterize edilirler. Depolama ortamı; su, buz ve kimyasal tuzlardır. Depolama teknolojilerinden soğuk su depolama, buz toplama, boru üzerinde buz ve plastik toplar içerisinde buz depolama teknikleri en yaygın olanlarıdır.

Depolama ortamları birim hacimde depolanan enerji miktarına ve depolama sıcaklığına göre değişiklik gösterirler. Buz depolamalı sistemler, suyun gizli ısından (335 kJ/kg) faydalanırlar ve depolama hacmi yaklaşık olarak 0,02 ile 0,03 m^3/kWh' dır [3]. Buz depolamalı sistemlerin su depolamalı sistemlere göre, aynı soğuyu depolamak için gerekli depo kapasitesinin yaklaşık 5-6 kat daha küçük olması, az yer kaplamaları, düşük sıcaklıklarda su elde edilebilmesi ve dağıtılması gibi bazı avantajları mevcuttur. Bu avantajlarından dolayı, bu çalışmada soğu depolama ortamı olarak buz seçilmiş ve tasarım buna göre yapılmıştır.

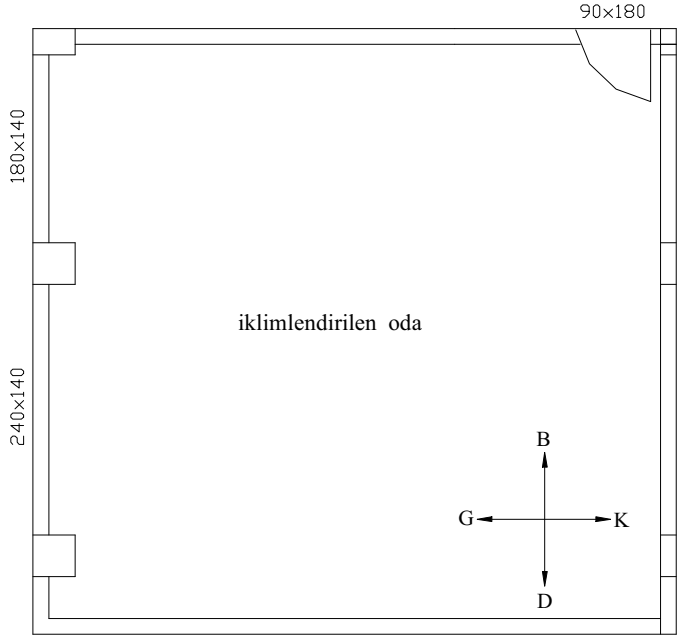
Buz depolamalı sistemler genel olarak statik ve dinamik buz depolamalı sistemler olarak ikiye ayrılırlar. Dinamik buz depolamalı sistemler, buz toplama, statik sistemler ise boru üzeri buz depolama sistemleridir. Boru üzerinde buz depolamalı sistemler de dıştan eritmeli ve içten eritmeli sistemler olarak ikiye ayrılırlar. Dıştan eritmeli sistemlerin tasarımı daha karmaşık olup, tasarım iyi yapılamadığı taktirde depolama (sistemin şarjı) sırasında borular arasında buz köprüleri oluşmakta ve bu da eritme sırasında (sistemin deşarjı) akışı zorlaştırarak istenmeyen durumlara yol açabilmektedir. Ayrıca, ertesi günkü şarjın verimli bir şekilde yapılabilmesi için, günlük kullanım sonunda depo içerisindeki tüm buzun erimiş olması gerekmektedir. İçten eritmeli sistemlerde ise eritme işlemi boru içinden yapılarak, bu tip dezavantajlar ortadan kaldırılmaktadır. Bundan dolayı bu çalışmada, içten eritmeli boru üzerinde buz depolama sistemi tercih edilmiştir [4].

Sistem kurulduktan sonra ilk yatırım maliyeti hesaplanmış ve konvansiyonel bir sistemin ilk yatırım maliyeti ile karşılaştırılmıştır. Son olarak da yapılan deneyler sonucunda, tasarlanan sistemin işletme maliyeti bulunup konvansiyonel sisteminki ile karşılaştırılmıştır.

2. Buz Depolamalı Sistemin Tasarımı

Buz depolamalı sistemin tasarımında önce seçilen mahalin soğutma yükü hesaplanmış ve günün saatlerine göre dağılımı elde edilmiştir. Sistemin çalışma ve işletim prensibine göre ön ekonomik analizi yapılmış ve ilk yatırım maliyeti fazla olmasına rağmen işletme maliyetinin minimum olmasından dolayı, tam depolamalı işletime dayalı sistem seçilip, uygulanmıştır.

Sistemin tasarımına, seçilen mahalin soğutma yükünün hesaplanmasıyla başlanmıştır. Seçilen mahal, Çukurova Üniversitesi, Makina Mühendisliği Laboratuarlarında bulunan 6x5.8x2.2 m boyutlarında bir ofistir (Şekil 1). Çizelge 1'de oda için elde edilen saatlik soğutma ihtiyacı gösterilmiştir [5,6].



Şekil 1. İklimlendirilen mahal

Çizelge 1. Seçilen mahalin soğutma yükü dağılımı

Saat	Soğutma Yükü (kW)	Saat	Soğutma Yükü (kW)	Saat	Soğutma Yükü (kW)
6	2,07	**12**	4,41	**18**	4,61
7	2,32	**13**	4,79	**19**	3,65
8	2,30	**14**	5,19	**20**	3,11
9	2,79	**15**	5,31	**21**	2,80
10	3,37	**16**	**5,51**	**22**	2,50
11	3,88	**17**	5,19	**23**	2,29
				24	2,08

Çizelge 1'den de görülebileceği gibi, maksimum soğutma yükü saat 16^{00}'da 5,51 kW olarak oluşmaktadır. 6^{00} ile 24^{00} saatleri arasındaki toplam soğutma yükü 68.17 kWh olup, büronun kullanılacağı düşünülen 8^{00}-17^{00} saatleri arasındaki toplam soğutma talebi ise 42 kWh olarak hesaplanmıştır. Buz depolamalı sistem için soğutma grubu ve depo kapasitesi bu yüke (42 kWh) göre hesaplanmış ve seçilmiştir [4].

Buz depolamalı sistemin şarjı esnasında, soğutma grubu düşük akışkan sıcaklıklarında (<-5 ^{0}C) çalışacağından, nominal kapasitesi düşer. Sistem tasarımında, bu kapasite değişimini dikkate almak gereklidir. Bu çalışmada seçilen soğutma grubu için üretici firma tarafından sağlanan bilgiler doğrultusunda, buz üretimi esnasındaki (–3 ^{O}C buharlaştırıcı giriş sıcaklığı ve –6^{O}C buharlaştırıcı çıkış sıcaklığı) soğutma kapasitesinin, nominal kapasitesinin yaklaşık %53'ü civarında olduğu hesaplanmıştır.

Soğutma grubu nominal kapasitesi,

Soğutma grubu nominal kapasitesi=Toplam Soğutma Yükü/(Çalışma Süresi*Çalışma Kapasite Oranı)**(1)**

eşitliğinden 9,9 kW olarak hesaplanmıştır. Bu değer elde edilirken, toplam soğutma yükü 42 kWh, sistemin şarj süresi, elektriğin en ucuz olduğu 22^{00}~06^{00} saatleri arasında buz üretileceği düşünülerek 8 saat ve soğutma grubu çalışma kapasitesi de nominal kapasitenin %53'ü olarak alınmıştır [7].

Tam depolamalı işletim stratejisinin özelliğinden dolayı, soğutma yükünün tamamı depodan karşılanacağından, gerekli soğu depolama kapasitesi de 42 kWh olmalıdır.

3. Depo Boyutlarının Hesabı

Soğu deposu, su dolu bir plastik tank ve içerisine yerleştirilmiş bir serpantinden oluşmaktadır. Depo içerisine yerleştirilecek ısı değiştirici eleman olarak, 16 mm dış çaplı ve 2 mm cidar kalınlığına sahip polietilen döşemeden ısıtma borusu seçilmiştir. Bu ısı değiştirici elemandan 8 saatlik şarj süresince, soğutma grubundan sağlanan –6^{O}C sıcaklığındaki su-glikol karışımının geçirilmesi durumunda boru yüzeyinde oluşacak buz kalınlığının zamanla değişimi teorik bir çalışma ile hesaplanmıştır [4]. Sabit buharlaştırıcı çıkış sıcaklığı varsayımı yapılarak elde edilen bu çalışmanın sonuçlarına göre, 8 saatlik şarj süresince tank içerisindeki borular üzerinde 1.5 cm kalınlığında buz oluşturulabileceği hesaplanmıştır.

Depolanması gereken buzun kütlesi M_{buz} (kg) ve hacmi V_{buz} (m^3),

$$M_{buz} = \frac{Q}{h_{buz}} \quad \textbf{(2)}$$

$$V_{buz} = \frac{M_{buz}}{\rho_{buz}} \quad \textbf{(3)}$$

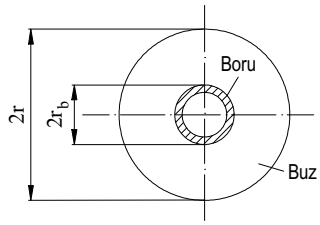
eşitlikleri ile belirlenebilir. Burada Q toplam soğutma yükünü, h_{buz} enerji depolama kapasitesini (0,09304 kWh/kg) ve ρ_{buz}'da buzun yoğunluğunu (917 kg/m^3) göstermektedir. Seçilen mahalin toplam soğutma ihtiyacı olan 42 kWh'i karşılayabilecek buzun şarj sırasında depo içerisinde üretilerek, depolanması gerekmektedir. Eşitlik 2'den gerekli buz kütlesi 452 kg ve buz hacmi 0,493 m^3 olarak bulunur.

Depo içerisine döşenecek toplam boru boyu L (m),

$$L = \frac{V_{buz}}{\pi(r^2 - r_b^{\,2})} \quad \textbf{(4)}$$

eşitliğinden 338 m olarak hesaplanmıştır. Burada r_b boru dış yarıçapını, r ise 8 mm dış yarıçaplı boru üzerinde 15 mm buz kalınlığı oluştuğu düşünülerek elde edilen 23 mm toplam dış yarıçapı göstermektedir (Şekil 2) [8].

Bulunan bu sonuçlardan görüleceği gibi, eğer su dolu bir depo içerisine yaklaşık 340 m uzunluğunda, 16 mm dış çaplı ve 2 mm et kalınlığında polietilen döşemeden ısıtma boru sarmalı döşenir ve bu sarmal içerisinden 8 saat süresince -3^{O}C~-6^{O}C ara soğutucu akışkan (su+glikol karışımı) geçirilirse, bu boru sarmalı üzerinde 1,5 cm kalınlığında buz oluşacak ve bu buzun kütlesi de 42 kWh'lik bir soğutma yükünü karşılayabilecektir [4].



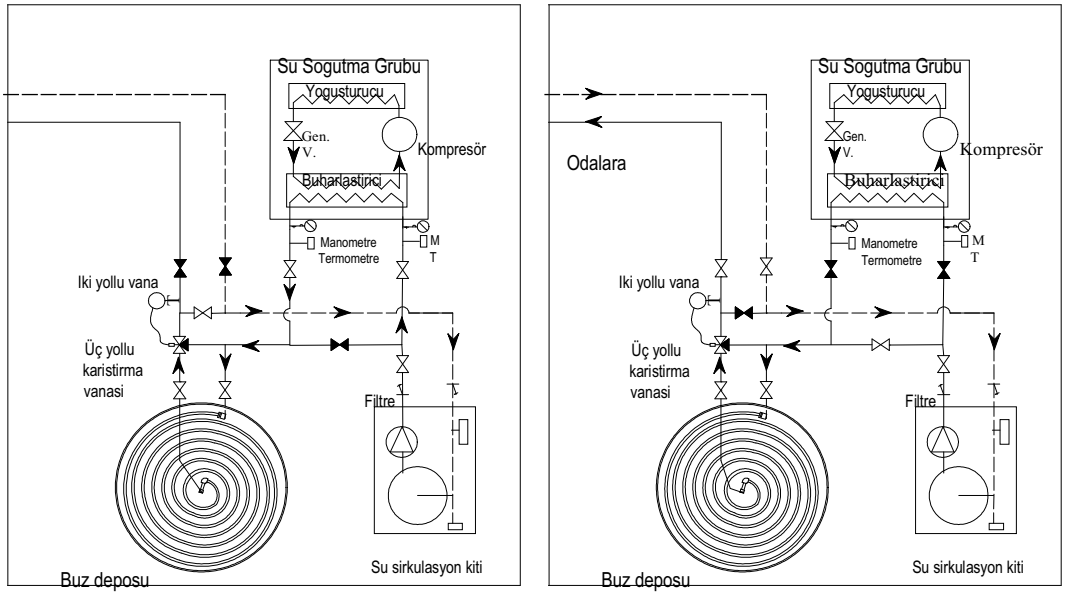
Şekil 2. Polietilen boru üzerinde buzun şematik gösterimi

4. Sistemin Kontrolü

Soğu depolamalı iklimlendirme sistemleri genel olarak iki işletme stratejisine göre işletilirler. Bunlar tam depolamalı işletme stratejisi ve kısmi depolamalı işletme stratejisidir. Tam depolamalı işletme stratejisinde, soğutma grubu, elektriğin ucuz olduğu periyotta (gece) tam kapasite ile çalıştırılır ve bir sonraki günün soğutma ihtiyacının tamamı depolanır. Elektriğin nispeten daha pahalı olduğu periyotlarda ise (gündüz-akşam) soğutma grubu çalışmaz, gerekli soğu ihtiyacının tamamı depodan karşılanır. Tam depolamalı işletme stratejisine göre çalışan soğu depolamalı iklimlendirme sistemleri konvansiyonel bir iklimlendirme sistemine oranla daha büyük bir soğutma grubu gerektirebilirler. Ayrıca gerekli depo hacmi de, kısmi depolamalı işletme stratejili bir iklimlendirme sistemininkinden daha büyüktür. İlk yatırımı yüksek bir işletim stratejisi olmasına karşın işletme maliyetlerinin düşük olması ve geri ödeme sürelerinin kısa olması bu sistemleri cazip hale getirmektedir.

Kısmi depolamalı işletme stratejisinde ise soğutma grubu, konvansiyonel sistemdekine oranla daha küçük seçilir ve gece tam kapasite ile çalıştırılarak depo şarj edilir. Gündüz ise işletmecinin isteğine göre, soğutma grubu gün içerisinde tam ya da kısmi kapasiteyle çalıştırılır ve hatta bazı saatlerde (elektriğin çok pahalı olduğu) tamamen durdurulabilir. Soğutma grubu gereğinden küçük seçildiği için, soğutma ihtiyacının yüksek olduğu saatlerde ihtiyacı karşılayamaz duruma gelir. Bu noktada devreye soğu deposu girer ve geri kalan soğutma ihtiyacı depodan karşılanır. Soğutma ihtiyacının düşmeye başlamasından sonra depo devreden çıkar ve yine tüm yükü soğutma grubu karşılar. Bu işletim stratejisinin en önemli avantajı ilk yatırım maliyetinin düşük olmasıdır. Soğutma grubu kapasitesi, tam depolamalı işletme stratejili bir sisteme ve konvansiyonel sisteme oranla daha düşüktür [8].

Bu çalışmada tam depolamalı işletim stratejisinin kullanılabileceği bir sistem tasarlanmıştır. Tam depolamalı işletme stratejisine göre, gece soğu deposundaki boru sarmalı içerisinden soğuk ara soğutucu akışkan geçirilerek üretilen buzun soğu enerjisi, gündüz aynı ara soğutucu akışkanın borular içerisinden geçirilerek, mahaldeki fan-coillere gönderilmesi suretiyle kullanılır (Şekil 3). Mahale gönderilecek akışkanın sıcaklığını istenilen bir değere ($7^{O}C$) set edebilmek için soğu deposu giriş ve çıkış hatları arasına bir üç yollu karıştırıcı vana konulmuştur. Bu üç yollu vana, basma hattına yerleştirilen bir duyar elemandan gerekli açma ve kapama sinyallerini alarak, akışkan yönünü değiştirir ve basma hattında istenilen sıcaklığı ayarlar.



Şekil 3. Tam depolamalı iklimlendirme sisteminin şarjı (a) ve deşarjı (b)

5. Bulgular

Çukurova Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Laboratuarlarında, tam depolamalı işletme stratejisine göre çalışan soğu depolamalı bir iklimlendirme sistemi kurularak sistemin ilk yatırım maliyeti konvansiyonel bir sisteminki ile kıyaslanmıştır (Çizelge 2) [4]. Çizelgeden de görülebileceği gibi, kurulan buz depolamalı sistemin ilk yatırım maliyeti konvansiyonel sisteminkinden fazladır. Bu fazlalık, soğu depolamalı sistemin ek olarak bir depo, bu depo için gerekli yalıtım malzemesi, ara soğutucu akışkan ve ek otomatik kontrol elemanlarına ihtiyaç duymasından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 2. Buz depolamalı bir sistemin normal konvansiyonel sisteme göre ilk yatırım maliyeti analizi

Malzeme	Konvansiyonel (TL)	Depolamalı (TL)
Soğutma Grubu	7 360 000 000	7 360 000 000
Glikol	-	150 000 000
Depo	-	800 000 000
Boru ve Fittingsler	960 000 000	960 000 000
Borulama	320 000 000	320 000 000
Elektrik Malzemesi	240 000 000	240 000 000
Yalıtım Malzemesi	70 000 000	140 000 000
Kontrol Elemanları	1 440 000 000	1 680 000 000
Ek Harcamalar	160 000 000	160 000 000
Toplam İlk Maliyet	10 550 000 000	11 810 000 000
Maliyet Artışı	-	1 260 000 000

Sistem kurulduktan sonra, bir şarj deneyi yapılarak boru üzerinde oluşan buz kalınlığı değişiminin, teorik çalışmalarda elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması yapılmıştır. Deney başlangıcında 11~12^{O}C civarında olan ara soğutucu akışkan sıcaklığı, deney başlangıcından yaklaşık 7000 sn sonunda istenilen şarj sıcaklığı olan –6^{O}C'ye düşmüş ve 9000 sn sonunda (2.5 saat) boru üzerinde buz oluşmaya başlamıştır. Yaklaşık 8 saat süren şarj deneyi süresince boru üzerinde oluşan buz kalınlığı belirli aralıklarla boru üzerindeki üç noktada (boru depo girişi, boru ortası, boru depo çıkışı) ölçülmüştür. Şarj süresinin sonunda, tüm boru boyunca, boru üzerinde ortalama 1.5 cm kalınlığında buzun oluştuğu gözlemlenmiştir [8].

Şarj deneyi sonucunda, soğu deposunda yaklaşık 400 kg (M_{buz}) buz elde edilmiş ve bunun için soğutma grubu 36 kWh enerji tüketmiştir. Bu veriler ile soğu deposunda depolanan toplam (duyulur ve gizli) soğu enerjisi dikkate alınırsa, sistemin şarj performansı bulunabilir :

Depolanan Duyulur Isı Enerjisi = $M_{su} \times C_{su} \times \Delta T$ **(5)**

Depolanan Gizli Isı Enerjisi = $M_{buz} \times h_{buz}$ **(6)**

Şarj performansı =(Depolanan gizli + duyulur soğu) / Enerji tüketimi **(7)**

Burada, M_{su} depo içerisindeki su miktarını (850 kg), C_{su} da suyun özgül ısısını (0.001162 kWh/kg^{O}C) göstermektedir. Eşitlik 5'de ΔT, depodaki suyun deney başlangıcındaki sıcaklığı (12 ^{0}C) ile buz oluşmaya başladığı sıcaklık (0 ^{0}C) arasındaki farkı göstermektedir. Bu verilere göre, depolanan duyulur ısı 6.86 kWh olarak bulunmuştur. Ayrıca elde edilen 400 kg buzun gizli ısısı eşitlik 6'dan 37.2 kWh olarak hesaplanmış ve böylece sistem şarj performansı eşitlik 7'den 1.22 olarak elde edilmiştir.

Tam depolamalı işletme stratejisine göre çalışan buz depolamalı iklimlendirme sistemlerinin amacı işletme maliyetini minimuma indirmektir. Deneysel çalışmadan elde edilen veriler kullanılarak, çizelge 3'de aylık bazda buz depolamalı ve konvansiyonel sistemlerin işletme maliyetleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma, mahalin bir ay içerisinde toplam 20 iş günü, 08^{00}-17^{00} saatleri arasında günlük 9 saat kullanımda olduğu kabul edilerek yapılmıştır. Ayrıca konvansiyonel sistemin normal tarifeye göre elektrik tükettiği düşünülmüştür.

Eğer aynı mahal, konvansiyonel bir sistem ile iklimlendirilmiş olsaydı, mahalin soğutma yükünü karşılayabilmek için 6 kW soğutma kapasiteli bir soğutma grubu seçilecekti. Üretici firma tarafından verilen bilgiler doğrultusunda, bu soğutma grubunun 7-12^{O}C su rejiminde çalıştırılması durumunda güç gereksiniminin 2.5 kW olduğu bulunmuştur [7]. Bu verilerle konvansiyonel sistemin bir ay içerisinde 450 kWh enerji harcayacağı ve bunun maliyetinin 78000000 TL olduğu hesaplanmıştır. Aynı odanın soğutma ihtiyacı, kurulan soğu depolamalı iklimlendirme sistemi ile karşılandığında toplam 800 kWh (22^{00}-06^{00} saatleri arasında 720 kWh, 08^{00}-17^{00} saatleri arasında pompalama için 80 kWh) elekrik harcayacağı ve maliyetinin 48500000 TL olacağı hesaplanmıştır (Çizelge 3). Çizelge 3'den de görülebileceği gibi, soğu depolamalı sistem kullanılması durumunda aylık enerji harcamasında % 38'lik bir tasarruf sağlanmaktadır.

Çizelge 3. Soğu depolamalı ve konvansiyonel iklimlendirme sisteminin aylık işletme maliyeti

Saatler	01.01.2002 tarihli Elektrik Fiyatları (TL/kWh) [2]			Aylık Elektrik Maliyeti (TL)	
	Yeni tarife	Normal tarife		Soğu depolamalı sistem	Konvansiyonel sistem (>150 kWh)
		(<150 kWh)	(>150 kWh)		
22^{00}-06^{00}	55 400	114 800	172 200	40 000 000	0
06^{00}-17^{00}	103 300			8 500 000 (pompalama)	78 000 000
17^{00}-22^{00}	180 350			0	0
Toplam Elektrik Maliyeti				48 500 000	78 000 000

6. Sonuç

Yapılan ön ekonomik analizler ve gerçekleştirilen deneyler sonucunda, tam depolamalı işletime dayalı soğu depolama sistemlerinin ilk yatırım maliyetlerinin konvansiyonel sistemlere göre daha fazla, ancak işletme maliyetlerinin daha düşük olduğu bulunmuştur. İlk yatırım maliyetindeki fazlalık, soğu depolamalı sistemin ek olarak bir depo, bu depo için gerekli yalıtım malzemesi, ara soğutucu akışkan ve ek otomatik kontrol elemanlarına ihtiyaç duymasından kaynaklanmaktadır. Burada asıl olarak maliyet artışı getiren depo fiyatıdır. Buz depolamalı iklimlendirme sistemlerinde kullanılabilecek depolar ülkemizde imal edilmemektedir. Bu çalışmada kullanılan kapasitedeki bir deponun yurt dışından getirilmesi durumunda maliyeti yaklaşık 20 milyar T.L.'dir. Bu çalışmada kullanılan depo, Çukurova Üniversitesi, Makina Mühendisliği Laboratuarlarında imal edilmiş olup maliyeti yaklaşık 1 milyar T.L. civarındadır. Buradan, buz depolarının ülkemizde oldukça düşük bir maliyetle imal edilebileceği ve soğu depolamalı sistemlerin yaygınlaşmasına katkıda bulunabileceği görülmüştür.

Kaynaklar

[1] BÜYÜKALACA, O., YILMAZ, T. ve ÖZGÖREN, M., (1998). "Konvansiyonel İklimlendirme Sistemine Buz Depolamanın Uyarlanması", 5. Ulusal Soğutma ve İklimlendirme Tekniği Kongresi.

[2] TEDAŞ Genel Müdürlüğü, (2002). "01 Ocak 2002 için yeni tarifeye göre elektrik kWh birim fiyatları".

[3] ASHRAE, (1993). Design Guide for Cool Thermal Storage.

[4] SERİN, H., (2002). Designing of an Air-Conditioning System with Ice Storage,Yüksek lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, ADANA.

[5] BÜYÜKALACA, O., BULUT, H. and YILMAZ, T., (2000). Degree-days for Certain Cities of Turkey, Proceedings of 12th Turkish National Congress on Thermal Science and Technologies with international participation, Vol. 1, p. 107-112.

[6] YILMAZ, T., BULUT, H., (2001). Türkiye için Yeni Dış Ortam Sıcaklık Tasarım Değerleri, TESKON Bildiriler Kitabı.

[7] MCQUAY, (2002). "Technical Brochure", Teba.

[8] GÜLER, R., (2002). Air-Conditioning System with Ice Storage, Operating Under Partial Storage Strategy, Yüksek lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, ADANA.